



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

# KOTLE NA BIOMASU VELKÝCH VÝKONŮ

BIOMASS BOILERS WITH HIGH OUTPUTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JIŘÍ CHMELÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MAREK BALÁŠ, Ph.D.

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Jiří Chmelíček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Energetika, procesy a ekologie (3904R030)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Kotle na biomasu velkých výkonů**

v anglickém jazyce:

### **Biomass boilers with high outputs**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na přehled kotlů spalující biomasu velkých výkonů. Provedená rešerše se bude soustředit na výrobce a provozovatele kotlů o výkonu nad 1 MW.

Cíle bakalářské práce:

- Rešerše o velkých kotlích na biomasu - typy, vlastnosti, výrobci
- Základní projekt pro centrální zásobování teplem s kotlem na spalování biomasy

Seznam odborné literatury:

Krbek, Polesný: průmyslová kogenerace

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Baláš, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 19.11.2010

L.S.

---

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

# **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá kotli na biomasu velkých výkonů. Práce je rozdělena do několika částí. V první části práce je charakterizována biomasa, popsány její vlastnosti a možná úprava. V druhé části je stručně popsán proces spalování a krátké pojednání o typech kotlů pro velké výkony. V další části jsou uvedené vybrané typy kotlů. Poslední část se zajímá o provozovatele kotlů na biomasu.

## **Klíčová slova:**

biomasa, kotel, kotle na biomasu, vlastnosti biomasy, spalování biomasy, štěpka

# **ABSTRACT**

This bachelor's thesis deals with biomass boilers with high outputs. The thesis is divided into several parts. The first part is characterized by biomass, characteristics and modifications are described. In the second part of this thesis combustion process is described briefly, there is short talking about types of boilers with high outputs in this part. In the next part there are examples of boilers. The last part is about users of biomass boilers.

## **Keywords:**

biomass, boiler, biomass boilers, biomass characteristics, biomass combustion, wood chips

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

CHMELÍČEK, J. *Kotle na biomasu velkých výkonů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Baláš, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechnu použitou literaturu a jiné podklady.

V Brně dne 18. 5. 2011

.....  
podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Markovi Balášovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a ochotu při konzultacích. Děkuji také své rodině, která mě podporovala během celého studia.



## Obsah

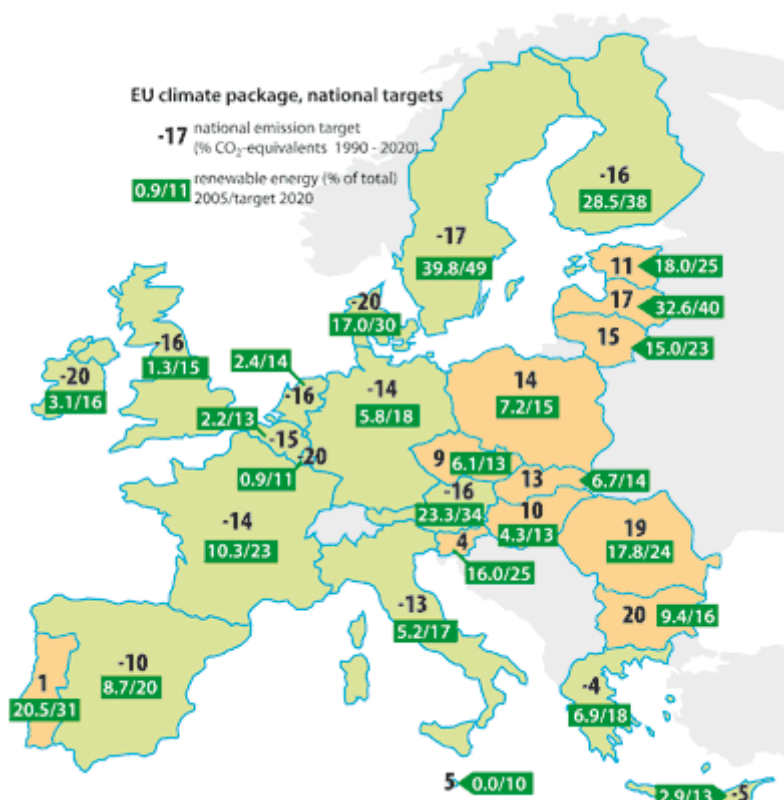
1. Úvod.....	10
2. Biomasa.....	11
2.1 Vznik rostlinné biomasy.....	11
2.2 Rozdělení biomasy.....	12
2.2.1 Cíleně pěstovaná biomasa.....	12
2.2.2 Odpadní (zbytková) biomasa.....	13
2.3 Vlastnosti biomasy.....	13
2.3.1 Chemické složení biomasy.....	13
2.3.2 Složení paliva.....	14
2.3.3 Spalné teplo a výhřevnost.....	14
2.3.4 Hustota paliva.....	15
2.3.5 Sytná hmotnost paliva.....	15
2.3.6 Mechanická odolnost.....	15
2.4 Úprava biomasy.....	16
2.5 Sušení biomasy.....	17
3. Spalování biomasy.....	17
3.1 Emise.....	18
4. Kotle na biomasu.....	19
4.1 Kotle roštové.....	19
4.2 Kotle fluidní.....	20
4.3 Kotle se spodním přívodem paliva.....	21
5. Typy kotlů a jejich výrobci.....	21
5.1 Vesko B.....	21
5.2 Vesko S.....	23
5.3 Kohlbach K typ 8.....	24
5.4 Binder SRF-H.....	25
5.5 Binder PRF.....	26
5.6 Verner GOLEM 2500.....	26
5.7 STEP-KB.....	27
5.8 STEP-KS.....	28
5.9 Kotle Mawera.....	29
5.10 PolyComp řady KUD.....	30
5.11 PolyComp řady FK.....	31
6. Vybraní provozovatelé.....	32
7. Závěr.....	36
8. Seznam použitých zdrojů.....	37
9. Seznam použitých zkratk a symbolů.....	39

## 1. Úvod

Biomasa patří mezi nejstarší využívané obnovitelné zdroje energie. Lidé využívají energeticky biomasu mnohem déle než ostatní zdroje. Biomasa je využívána minimálně několik desítek tisíc let a její cílené energetické využívání udává doba, kdy lidstvo zvládlo rozdělat a udržovat oheň. Ostatní obnovitelné zdroje, jako energie vody a větru, jsou využívány jen několik tisíc let. Mezi nejmladší obnovitelné zdroje patří energie z uhlí a jaderné energie. Ještě do 19. století byla biomasa využívána v největší míře oproti ostatním zdrojům. Ve 20. století se dominantnějšími staly fosilní zdroje. V dnešní době je jasné, že zásoby fosilních paliv nejsou nekonečné, proto se začíná klást větší důraz na obnovitelné zdroje energie. Různé země se zavazují, že určitou část energie budou vyrábět právě z obnovitelných zdrojů.

V průběhu času se biomasa začala spalovat na primitivních ohništích, později v různých kamnech, krbech, kotlích a v dnešní době je spalována mimo jiné i ve velkých kotlích, které fungují už plně automaticky bez potřeby obsluhy. Kotle už neslouží pouze k výrobě tepla, ale dají se využívat i kogeneračním způsobem, kdy je spolu s teplem vyráběna elektřina.

V následujícím obrázku je uveden přehled zemí v rámci Evropské unie, které se zavázaly plnit výrobu energie z obnovitelných zdrojů na určitá procenta. V zeleném rámečku na prvním místě je uvedeno kolik procent se z obnovitelných zdrojů vyrábělo v roce 2005 a na druhém místě je uveden závazek zemí, který by měly splnit v roce 2020.



**Obr. 1** Přehled závazků zemí v EU na výrobu energie z OZE [36]

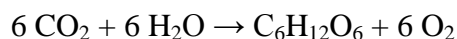
## 2. Biomasa

Biomasa se rozumí biologicky rozložitelná část výrobků, odpadů a zbytků ze zemědělství (včetně rostlinných a živočišných látek), lesnictví a souvisejících průmyslových odvětví, a rovněž biologicky rozložitelná část průmyslového a komunálního odpadu. [1]

Rostlinná biomasa bývá označována jako obnovitelný zdroj energie, jelikož vyprodukovaný oxid uhličitý vzniklý při spalování je teoreticky spotřebován při růstu rostlin. Ale jako obnovitelný zdroj energie nelze nazvat biomasu přeměněnou na fosilní paliva – paliva vzniká před dávnou dobou (uhlí, ropa, zemní plyn).

### 2.1 Vznik rostlinné biomasy

Rostlinná biomasa vzniká biochemickou přeměnou, která se nazývá fotosyntéza. Při této přeměně rostliny odebírají oxid uhličitý z atmosféry a zachycují sluneční záření. Oxid uhličitý se pomocí barviva chlorofylu a záření redukuje, vytváří se z něj glukóza a další organické sloučeniny. Při tomto procesu je do atmosféry uvolňován kyslík jako odpadní produkt fotosyntézy. Proces je popsán následující rovnicí [2]:



Mimo oxidu uhličitého a slunečního záření potřebují rostliny dále zejména minerální látky (dodávány ve formě hnojení), přiměřenou teplotu a dostatek vody. Vhodnost z hlediska výnosu biomasy určuje tzv. čistá primární produkce. Je to údaj, který popisuje, kolik uhlíku se z oxidu uhličitého přemění na biomasu. Množství uhlíku a obsah vody v palivu ovlivňuje výhřevnost, přičemž platí, že s rostoucí vlhkostí klesá výhřevnost lineárně.

Druh paliva	Obsah vody	Výhřevnost
	[%]	[MJ/kg]
Dřevo obecně	20	14,23
Listnaté dřevo	50	7,585
Jehličnaté dřevo	50	8,161
Polena (měkké dřevo)	10	16,4
Dřevní štěpka	40	10,1
Smrková kůra	50	8,4
Sláma obilovin	10	15,49
Sláma kukuřice	10	14,4
Lněné stonky	10	16,9
Sláma řepky	10	16
Koks		27,5
Černé uhlí (20,9-31,4)		25,1
Hnědé uhlí (10,5-17,2)		15,1

**Tab. 1** Příklady výhřevností různých druhů paliv [3]



## 2.2 Rozdělení biomasy

Rozdělení biomasy je možné z několika hledisek. Základní rozdělení biomasy je:

- Cíleně pěstovaná biomasa
- Odpadní (zbytková biomasa)

Dělení biomasy podle typu rostlin:

- Stébelniny – např. pšenice, řepka, šťovík
- Dřeviny – např. topol, vrba, olše

Dělení biomasy z hlediska způsobu využití [4]:

- Suchá (vlhkost do 40 %) – biomasu je možné spalovat, v závislosti na typu a velikosti kotle je třeba biomasu vysušovat (dřevo, dřevní štěpka, obilná sláma, kůra)
- Mokrý (vlhkost nad 40 %) – využívá se hlavně k výrobě bioplynu (kejda, hnůj, kaly z čističek odpadních vod)

### 2.2.1 Cíleně pěstovaná biomasa

Pokud pěstujeme plodiny cíleně za účelem energetického využití, jedná se o tzv. energetické plodiny. Tyto plodiny pak nejsou využívány pro produkci potravin, ani pro technické využití. Teoreticky se dá každá plodina energeticky využít, ale existují určité předpoklady, kdy jsou energetické plodiny efektivněji využity. Jsou to především [5]:

- Velký obsah sušiny (nízký obsah vody) v době sklizně
- Vysoká výhřevnost a nízký obsah popela
- Dobrá účinnost přeměny oxidu uhličitýho na biomasu pomocí slunečního záření, a tedy i vysoká primární produkce
- Odolnost proti chorobám a škůdcům

Energetické plodiny je možné rozdělit na plodiny rostlinného a dřevinného původu. Energetické rostliny jsou pěstovány na orných půdách a jsou to jedno nebo víceleté rostliny, přičemž doba sklizně je obvykle v zimě, kdy mají rostliny nejmenší vlhkost. Při sklizni se většinou používá běžná zemědělská technika. Mezi významnější rostliny patří energetický šťovík, křídlatka, lesknice kanárská, jestřabina, mužák a vybrané druhy trav, jako ovsík vyvýšený, sveřep bezbranný, ozdobnice čínská apod.

Energetické dřeviny jsou pěstovány na plantážích, mohou být sklizené speciální technikou, kdy jsou dřeviny mechanicky vázány do otepí nebo přímo štěpkovány, ale v případě sklizně po delší době se využívá současný způsob těžby v lesích. Jako energetické dřeviny jsou pěstovány rychlerostoucí dřeviny např. topoly, vrby, olše, lípy, lísky. Dřeviny se sklízí od pěti let růstu, ale až po 20 let růstu, kdy kmeny dorůstají tloušťky až 200 – 300 mm. Po sklizni se pařezy nechávají znovu obrůst, tento cyklus je možné opakovat až 5-6 krát, záleží na typu dřeviny a na podmínkách pěstování. Sklízí se opět v zimě, kdy jsou dřeviny bez listů a mají nízkou vlhkost. Další výhodou je zmrzlá půda pro lepší přístup techniky.

### 2.2.2 Odpadní (zbytková) biomasa

Pokud je biomasa primárně využita pro produkci potravin nebo pro technické použití, tak nezpracovaný zbytek je nazýván odpadní biomasa (primárně není pěstovaná k energetickému účelu). Převážně jde o odpady z odvětví, která nějak využívají a zpracovávají biomasu [5]:

- Rostlinné odpady ze zemědělské výroby (řepková, kukuřičná nebo obilná sláma, seno)
- Odpady z údržby krajiny či sadů (prořezy, křoviny a náletové dřeviny) a odpady z údržby veřejných ploch
- Odpady po těžbě dříví (kůra, vršky stromů, větve, šišky, pařezy, kořeny a podobně)
- Odpady z různých dřevozpracujících provozů (odřezky, piliny, hobliny)
- Odpady z potravinářských výrob (cukrovary, jatka, mlékárny, lihovary)
- Některé jinak nevyužité vedlejší produkty z živočišné výroby (hnůj, kejda, zbytky krmiv)
- Komunální organické odpady

## 2.3 Vlastnosti biomasy

Při návrhu spalovacího zařízení na biomasu se musí brát ohled na fyzikálně a chemické vlastnosti. Mezi tyto vlastnosti patří chemické složení biomasy, složení paliva, spalné teplo a výhřevnost, hustota paliva, sypná hmotnost paliva, spotřeba paliva, mechanická odolnost. Mezi další faktory, které ovlivňují skladování biomasy, patří obsah spor hub a biologická stabilita.

### 2.3.1 Chemické složení biomasy

Obecně v biomase mají největší zastoupení prvky jako uhlík C, vodík H<sub>2</sub> a kyslík O<sub>2</sub>. Při spalování se palivo okysličuje, probíhá oxidace uhlíku, vodíku a dochází k uvolňování tepla. Přičemž tepelnou energii uvolňuje uhlík, nikoliv kyslík. Kromě uvedených prvků s největším zastoupením obsahuje biomasa řadu dalších prvků, které ovlivňují obsah škodlivin ve spalinách. Mezi takovéto prvky patří síra S, chlor Cl a dusík N<sub>2</sub>. Dalšími prvky, které ovlivňují spalování nepřímo, jsou stopové anorganické prvky. Tyto prvky způsobují např. vznik škodlivých látek a tvorbu nánosů ve spalovacím zařízení. Za stopový prvek je považováno olovo Pb, draslík K, sodík Na, vápník Ca, křemík Si, mangan Mn, bór B atd. [5]

Biomasa může obsahovat i jiné prvky, které nevznikly při růstu biomasy. Může být znečištěna při sklizni zeminou nebo dalšími materiály, které mohly být přidány během sběru, dopravy nebo skladování. Příklad zastoupení prvků v některých palivech je uveden v následující tabulce.

Palivo	Složky paliva v suché hmotě [%]					
	C	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	S	Cl
Smrkové dřevo s kůrou	49,8	6,3	43,2	0,13	0,015	0,005
Vrbové dřevo	47,1	6,1	44,3	0,54	0,045	0,004
Řepková sláma	47,1	5,9	40,0	0,84	0,270	0,470
Pšeničné zrno se slámou	45,2	6,4	42,9	1,41	0,120	0,090
Řepkové semeno	60,5	7,2	23,8	3,94	0,100	0,000
Polnohospodářské seno	45,5	6,1	41,5	1,14	0,160	0,220

*Tab. 2 Chemické složení biomasy [5]*

Z uvedené tabulky je patrné, že biomasa dřevního charakteru je považována za nízkoalkalické palivo (nízký obsah chlóru) a rostlinná biomasa je považována za palivo vysokoalkalické (vyšší obsah chlóru). Zastoupení prvků chlóru a síry ovlivňuje nežádoucí korozivní procesy spalovacího zařízení.

### 2.3.2 Složení paliva

Základním složením paliva se rozumí obsah hořlaviny  $h$ , obsah popeloviny  $A$  a obsah vody  $W^r$  v palivu. Hořlavina je část paliva, která je nositelem tepelné energie uvolněné při spalování. Hořlavinu je možné rozdělit na aktivní látky a pasivní látky hořlaviny. Mezi aktivní látky, které při oxidaci uvolňují teplo, patří především uhlík, vodík a případně síra. Mezi pasivní látky, které neuvolňují teplo, ale jsou vázané na organickou hmotu, se řadí kyslík a dusík.

Popelovinu v palivu lze charakterizovat jako obsah minerálních látek (křemičitany, uhličitany, sírany a další), které jsou obsaženy v palivu před jeho spálením. Spálením popeloviny se vytváří tuhý zbytek – popel.

Obsah vody v palivu patří mezi významnou vlastnost, má vliv na výhřevnost paliva. Vyšší obsah vody snižuje výhřevnost, a je zdrojem dalších potíží jako je růst hub a uvolňování sporů, ovlivňuje schopnost hoření, riziko samovznícení a ovlivňuje sypanou hmotnost. [5, 7]

Složení surového paliva před spálení					
Celková voda		Popeloviny		Hořlaviny	
Voda povrchová	Voda hygroskopická	Křemičitany vápníku a hliníku, uhličitany hořčíku a železa, oxid křemičitý, pyrit atd.		Tuhá hořlavina	Prchavá hořlavina
				Uhlík, vodík, síra, dusík, kyslík	
Stav po spálení paliva ve skutečném ohništi					
Plynné zbytky z vody		Tuhé zbytky z popelovin		Plynné zbytky z hořlavin	
Vodní pára		Škvára	Popílek	Složky kouřových plynů	
		Oxid křemičitý, hlinitý, vápenatý, železitý, železnatý, draselný, sodný atd.		Oxid uhličitý, siřičitý, oxid dusíku, oxid uhelnatý a vodík, vzdušný kyslík a dusík, vodní pára	

**Tab. 3** Spalování surového paliva [6]

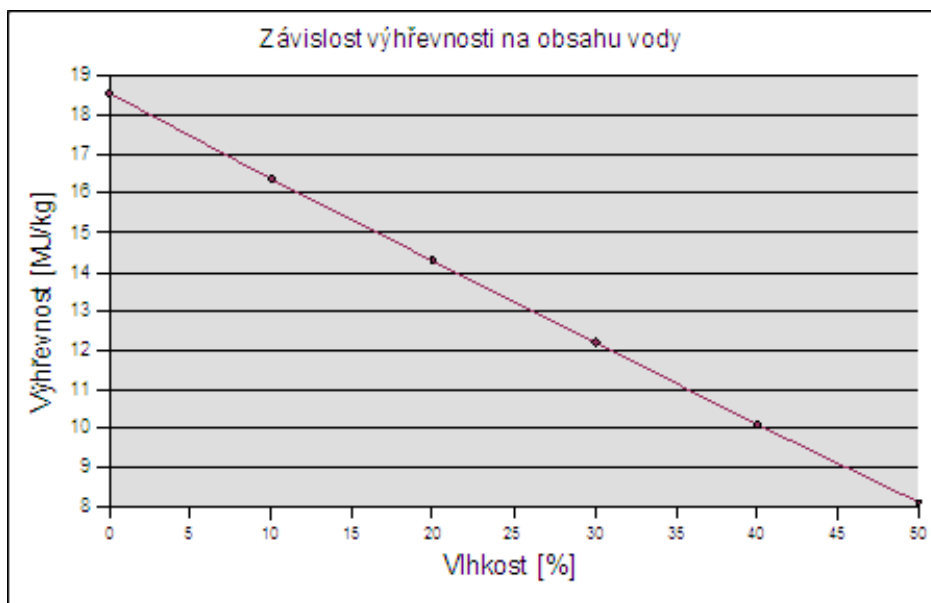
### 2.3.3 Spalné teplo a výhřevnost

Spalné teplo  $Q_s$  je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při ochlazení spalin na 20 °C, přičemž voda ve spalinách zkondenzuje, tj. je v kapalně fázi. [7]

Výhřevnost  $Q_i^r$  se přepočítává ze spalného tepla, a je to teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při ochlazení spalin na 20°C, přičemž voda ve spalinách nezkondenzuje, ale zůstane v plynné fázi. Výhřevnost je lineárně závislá na obsahu vody v palivu.

$$Q_i^r = Q_s - r (W^r + 8,94H_2) \quad [7]$$

kde:  $r$  (kJ/kg)      výparné teplo vody  
 $H_2(-)$       obsah vodíku v surovém palivu (z 1 kg vodíku vznikne 8,94 kg vody)



*Obr. 2 Graf závislosti výhřevnosti na obsahu vody [9]*

### 2.3.4 Hustota paliva

Hustota paliva je udávána jako hmotnost jednotkového objemu paliva. Tato hustota závisí vždy na vlhkosti paliva, proto rostlina nebo dřevina má při různé vlhkosti i různou hustotu. Pro určení hustoty paliva je tak nezbytné nejprve určit vlhkost paliva. [5]

### 2.3.5 Sypná hmotnost paliva

Sypná hmotnost je definována jako poměr mezi hmotnostmi a prostorem, který zaujímá sypká biomasa. Je možné ji určit tak, že nádobu o známém objemu naplníme sypkým materiálem, a zvážíme jeho hmotnost. Sypká hmotnost je závislá na vlastnostech sypké biomasy, především na druhu biomasy, zrnitosti, způsobu sypání, vlhkosti a může být ovlivněná i způsobem zhuštění, které může být způsobeno např. vibracemi nebo stlačením. Důležitým faktorem je velikost částic, která může způsobit řadu problémů, jako jsou:

- Problémy s dopravou
- Omezení kontinuálního zásobování palivem
- Snížení prostupu vzduchu při sušení
- Omezení optimální distribuce částic v hořáku
- Vznik prachových částic během dopravy a manipulace

### 2.3.6 Mechanická odolnost

Další vlastností je mechanická odolnost, která je významná především u pelet. Provádí se zkouška mechanické odolnosti, která je dána normou ČSN EN 15210-1. Tato zkouška probíhá tak, že se do bubnu umístí vzorky. Buben se roztočí a vzorky narážejí na lopatku, která dělí buben a dochází k otěru. Jemnější částice se z otěru dají vyloučit použitím síta. Účelem je ověření správného postupu při výrobě pelet. U materiálů s nízkou mechanickou odolností hrozí nižší účinnost spalování a zvýšení tvorby popílku. Dále se mohou vyskytnout problémy s dopravou paliva, s uvolňováním jemných částic a hrozí riziko prachové exploze.



## 2.4 Úprava biomasy

Pro spalování biomasy je nutné upravit velikost a formu paliva podle požadavků spalovacího zařízení. U kusového dřeva se velikost upravuje štípáním (pomocí štípačky s štípacím kuželem, s klíny apod.) a řezáním na kratší kusy. Větve, dřeviny menších průměrů, ale i samotné stromy je možné upravovat na formu štěpky – to jsou až několik centimetrů velké kousky, které lze dopravovat pásovým dopravníkem. Výhoda štěpky oproti kusovému dřevu je ta, že rychleji schne a umožňuje automatické dávkování do kotle. Naopak nevýhodou je rychlejší rozklad, tím se zvyšuje obsah vody a dochází k nárůstu skladované štěpky, kdy může dojít až k samovznícení. Pro spalování dřevní štěpky je optimální vlhkost kolem 30 %. Pokud je vlhkost štěpky do 60 %, tak proces spalování značně ztrácí na účinnosti. Mezi vlhkostmi 60 až 70 % je štěpka pro spalování nevhodná, výhřevnost je tak nízká, že nestačí ani na udržení spalovacích procesů. Naopak velmi nízká vlhkost není také žádoucí, protože spalování takto suché štěpky má výbušný charakter a část tepelné energie odchází prostřednictvím kouřových plynů komínem.



*Obr. 3,4 Štěpkovač Jensen a štěpka vyrobená nožovým štěpkovačem [10, 13]*

Seno a slámu lze lisovat do balíků, které se ve speciálních kotlích spalují jako celek, nebo jsou před vstupem do topeniště kotle rozděleny na menší části pomocí sekacího zařízení. Naopak z rozdrčené a vysušené slámy lze lisovat pelety nebo brikety. Pro lisování se dále používají piliny, hobliny a jiné rozdrčené traviny. Brikety jsou považovány za alternativu kusového dřeva, spalují se ve stejných kotlích. Pelety je možné oproti briketám spalovat v kotlích s automatickým dopravníkem.



*Obr. 5, 6 Lis na balíky Claas Variant a ukázka rozdílů polen dřeva, briket a pelet [11, 13]*



## 2.5 Sušení biomasy

Před energetickým využitím je vhodné biomasu nechat vyschnout, jelikož dojde ke zvýšení výhřevnosti paliva. Další důvod k vysoušení je ten, že při spalování paliva s vysokým obsahem vody dochází k velkému uvolňování vodních par, které zhoršují podmínky spalování. Zkondenzovaná vodní pára reaguje s uhlíkatými složkami a tím se vytváří dehet na teplosměnných plochách. Tímto dochází k poklesu celkovému výkonu kotle.

Proto se doporučuje vlhkost pod 30 %, za optimální se považuje hranice do 20 %. Takové vlhkosti lze dosáhnout sušením pod zakrytým přístřeškem. Ale pro lisování pelet nebo briket je potřebná daleko nižší vlhkost, k takovému sušení se používá zvýšená teplota – dodaná energie. Dosušení je možné za použití odpadního tepla, solární energie. Např. v létě, kdy není topná sezóna, je k sušení využíváno odpadní teplo z kogeneračních jednotek a vysušenou biomasu je možné použít v zimě k vytápění. Při snížení vlhkosti štěpky ze 40 % na přibližně 10 %, získáme o polovinu více tepla. [5, 9]

## 3. Spalování biomasy

Spalování je oksidování paliva až na konečné produkty reakce. Je to fyzikálně chemický děj s uvolňováním tepla. Chemické reakce, při nichž se teplo uvolňuje, nazýváme exotermické a uvolněné teplo efektem reakce. [7]

Ve spalovacím pochodu jsou zastoupeny tyto pracovní látky [7]:

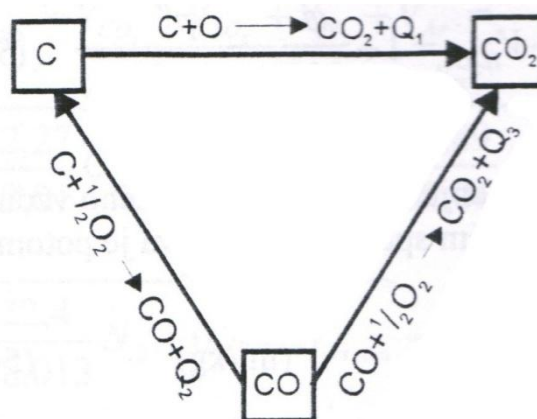
- Palivo – jakákoliv hořlavá látka s dostatečnou
- Oksidovadlo – látka, která obsahuje kyslík, většinou se jedná o vzduch
- Produkty – plynné spaliny (obsahují tuhý úlet), tuhý nebo kapalný zbytek po spalování

Hoření paliva může začít dvěma způsoby, buď samovolným samovznícením, nebo působením tepelného impulsu. Samovznícení určuje tzv. teplota zápalnosti. Teplota zápalnosti je nejnižší teplota, na kterou se musí palivo zahřát, aby se samovznítilo, tzn. bez kontaktu s plamenem. U dřeva se teplota zápalnosti pohybuje mezi 330 – 470 °C. Naopak teplota, při které se z paliva odpařuje tolik plynů a vytvoří se směs, která při kontaktu s plamenem začne hořet, se nazývá teplota vzplanutí. Teplota vzplanutí se u dřeva pohybuje mezi 180 – 260 °C. Hoření má charakter řetězového děje, kdy část spalného tepla zapaluje novou vstupující směs. Hoření trvá tak dlouho, dokud se nevyčerpá hořlavá směs nebo do okamžiku, kdy se intenzivně odvádí teplo.

Tepelné toky při hoření popisuje tzv. Hessův zákon, který říká, že tepelný efekt chemické reakce nezávisí na cestě, kterou reakce probíhá ke konečnému produktu, ale pouze na počátečním stavu tj. na stavu před a po reakci. [7]

Při dokonalém spalování se spaluje uhlík, vodík a síra. Toto spalování popisují následující rovnice:

- |   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| 1) $C + O_2 \rightarrow CO_2 + Q_c$         | (spalování uhlíku na oxid uhličitý) |
| 2) $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + Q_{H_2}$ | (palování vodíku na vodní páru)     |
| 3) $S + O_2 \rightarrow SO_2 + Q_s$         | (spalování síry na oxid siřičitý)   |



**Obr. 7** Schéma Hessova zákona – tepelné toky:  $Q_1 = Q_2 + Q_3$  [7]

### 3.1 Emise

Při spalování vznikají tzv. emise, jedná se o látky znečišťující ovzduší. Mimo jiné je ve spalinách obsažen oxid uhličitý, kde se uvádí, že teoreticky je z hlediska emisí neutrální. Protože při dokonalém spalování je vyprodukováno tolik oxidu uhličitého, kolik je spotřebováno rostlinami při jejich růstu. Spaliny při dokonalém spalování tedy obsahují [7]:

- $\text{CO}_2$  z uhlíku hořlaviny a také ze spalovacího vzduchu
- $\text{SO}_2$  ze síry v hořlavině paliva
- $\text{N}_2$  z hořlaviny a ze spalovacího vzduchu
- Ar ze spalovacího vzduchu
- $\text{H}_2\text{O}$  z hořlaviny paliva (vodíku), z vlhkosti paliva a z vlhkosti spalovacího vzduchu

Dalšími emisemi jsou oxidy dusíku  $\text{NO}_x$ , které vznikají z části dusíku v hořlavině paliva a vzduchu. Vznik oxidů dusíku je ovlivněn spalovací teplotou, kdy se při vysoké teplotě (nad  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ ) vytvářejí tzv. termické oxidy dusíku.

Dále při nedokonalém spalování může být ve spalinách obsažen oxid uhelnatý CO. Příčinnou nedokonalého spalování je nedostatečné množství spalovacího vzduchu. Pro omezení produkce oxidu uhelnatého se doporučuje spalování s vhodným přebytkem vzduchu  $\alpha$  a dostatečná teplota spalování, potom se oxid uhelnatý redukuje na oxid uhličitý. Volba přebytku vzduchu je důležitá i z toho důvodu, že při vyšším přebytku vzduchu dochází ke zvýšení objemu spalin a tím je potřebný větší výkon ventilátoru spalin. Navíc společně s přisáváním falešného vzduchu jednotlivých částí spalovacího zařízení ochlazuje spaliny, které jsou využívány např. pro předehřev spalovacího vzduchu.

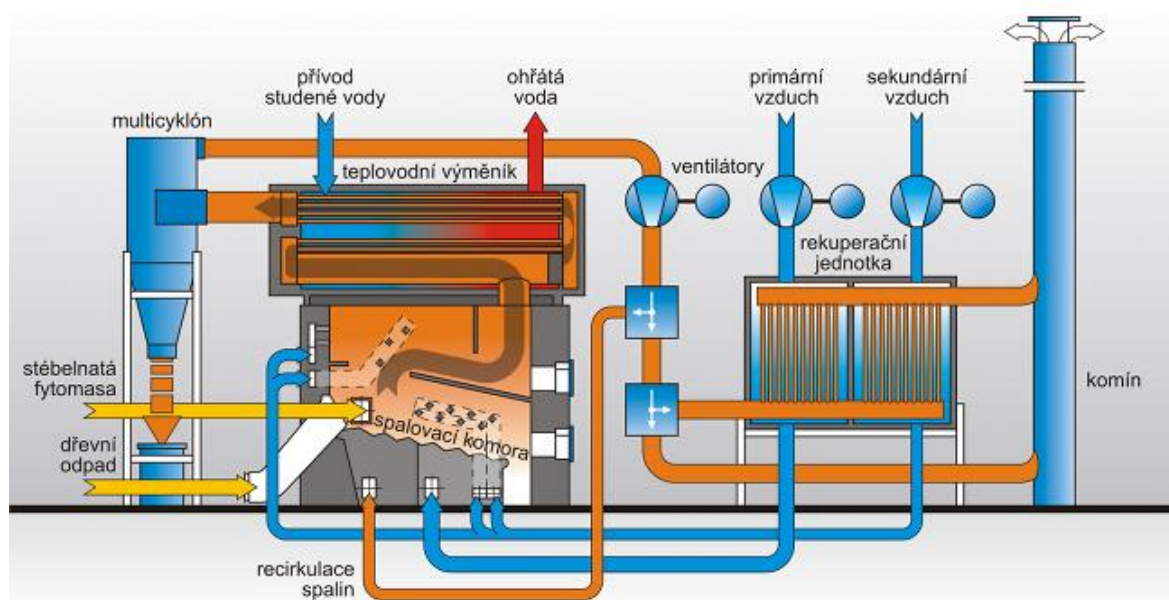
Při spalování biomasy vznikají i jiné škodliviny, jedná se o např. polyaromatické uhlovodíky, případně dioxiny. Ovšem obsah těchto škodlivin ovlivňuje způsob spalování. V neposlední řadě spaliny obsahují částice tuhého úletu, které se zachycují v zařízení zvaném odlučovák popílku. [7, 14]

## 4. Kotle na biomasu

Kotel na biomasu je zařízení, které slouží na ohřev vody, k výrobě páry nebo ohřevu jiného média. Spalováním biomasy v kotli vzniká teplo, které je přenášeno do pracovního média (voda, pára, olej). Ohřátá voda se nazývá teplá voda, pokud má teplotu do 110 °C. Nad 110 °C se jedná o horkou vodu. Nebo je možné vyrábět páru sytou či přehřátou. Kotel se skládá z několika částí [8]:

- vlastní spalovací zařízení – typ ohniště, hořáku
- zařízení k přípravě paliva
- zařízení k odstranění zbytků po spálení
- zařízení k ohřevu spalovacího vzduchu (LUVO)
- zařízení k dopravě vzduchu spalin
- výměníky tepla
  - ohřívák vody (ekonomizér - EKO)
  - u parních kotlů – výparný systém, přehřívák páry, přihřívák páry

Spalování tuhé biomasy v kotlích nad 1 MW se nejčastěji provádí v kotlích roštových, fluidních a v kotlích se spodním přívodem paliva.



*Obr. 8 Schéma spalovacího zařízení [15]*

### 4.1 Kotle roštové

U těchto kotlů probíhá spalování v roštovém ohništi, a to na samotném roštu v klidné vrstvě (tzv. filtrační vrstvě) a také v prostoru nad vrstvou paliva, kam je přiváděn sekundární vzduch na závislosti podílu prchavé hořlaviny uvolňované z paliva. Rošt podpírá kusové palivo a umožňuje vytvoření vrstvy, která má požadovanou tloušťku a prodyšnost. Umožňuje postupné vysoušení paliva až po jeho hoření, zajišťuje dostatek spalovacího vzduchu a odvádí tuhé zbytky po spálení. Také umožňuje regulovat výkon ohniště. Používají se od nejmenších výkonů do 50 MW. [8]

Palivo, které se postupně na roštu posouvá, má několik fází [8]:

- sušení, během něhož se palivo ohřívá a snižuje se obsah vody
- odplyňování
- hoření prchavé hořlaviny a zápal vrstvy tuhé hořlaviny
- dohořívání tuhé fáze a chladnutí tuhých zbytků

Druhy roštů:

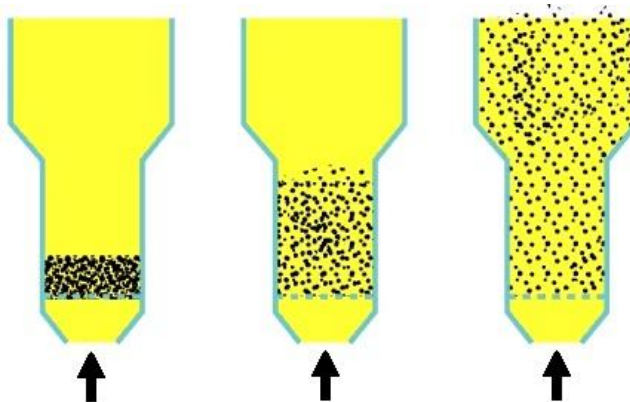
- pevný (rovinný, stupňový)
- mechanický (pásový s výsypkou, s pohazováním)
- přesuvný
- vratisuvný

## 4.2 Kotle fluidní

U kotlů fluidních probíhá pochod zvaný fluidizace. Ta nastane, když je do roštu zespod přiváděno určité médium (většinou se jedná o vzduch). Pokud má přiváděný vzduch určitou rychlost, tak vazba mezi částicemi na roštu se uvolňuje, dochází ke vznosu částic a vytváří se fluidní vrstva. Tato vrstva má některé vlastnosti typické pro kapaliny – vytváří hydrostatický tlak, vytéká otvory, má hladinu. Účelem při spalování ve fluidní vrstvě je dosažení co největšího mezifázového povrchu mezi vzduchem a částicemi. Pokud rychlost přiváděného vzduchu roste, tak se hladina fluidní vrstvy zvyšuje a zmenšuje se její objemová koncentrace. Při tzv. prahové rychlosti úletu dochází k tomu, že rychle proudící vzduch začne unášet částice z fluidní vrstvy.

Fluidní vrstva může být buď stacionární (bublinková) nebo cirkulující. Stacionární fluidní vrstva se používá při výkonu do 30 MW. Pro větší výkony je obtížné udržet teplotu spalování na požadované úrovni, proto se používá cirkulující fluidní vrstva.

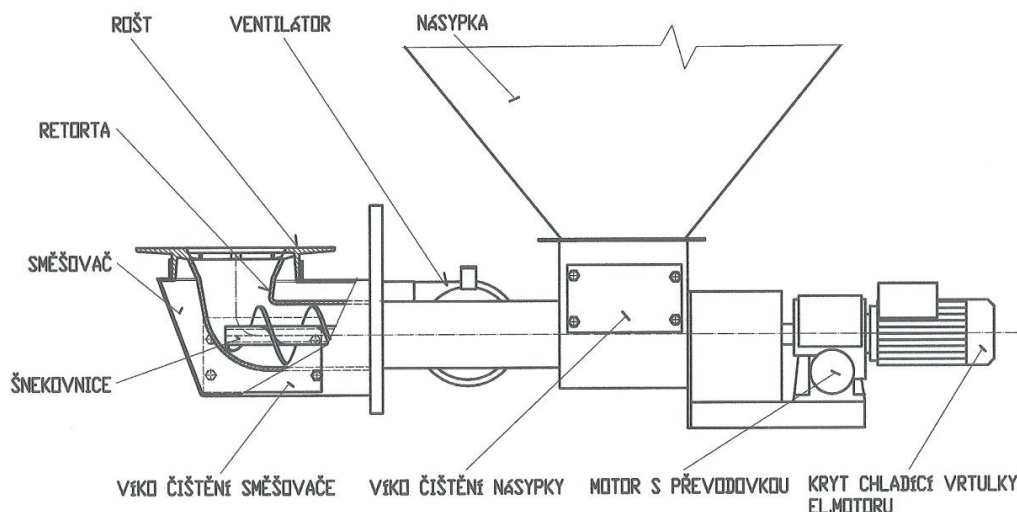
Pro vytvoření stabilní fluidní vrstvy je zapotřebí většího množství materiálu, než je hmota paliva, proto je fluidní lože tvořeno z větší části inertním materiálem, kterým může být popel z paliva nebo uměle dodávaný materiál, např. písek o různé zrnitosti. Nízká koncentrace paliva ve fluidní vrstvě, která se pohybuje v řádu jednotek procent, umožňuje vést spalování při velmi nízké teplotě (i okolo 750 °C) a umožňuje se tak vyhnout problémům s tavením popelovin některých biopaliv. Protože biomasa má obvykle velmi nízký obsah vlastních popelovin, je nutné pro nasazení fluidní technologie zvolit cizí inertní materiál. [17]



*Obr. 9 Schéma fluidizace [18]*

### 4.3 Kotle se spodním přívodem paliva

Pro kotle se spodním přívodem paliva je charakteristický přívod paliva do ohniště zespodu do tzv. retortového hořáku. Jako palivo jsou většinou používány pelety. Palivo je dopravováno z násypky pomocí šnekového dopravníku do hořáku, kam je současně vháněn spalovací vzduch ventilátorem. Rošt je kruhového tvaru a po obvodě má několik řad děr, kudy odpadáva popel vzniklý při spalování. Tyto kotle jsou plně automatické, mají regulovatelný přísun paliva i vzduchu a bezobslužný odvod popele.



*Obr. 10 Schéma retortového hořáku [16]*

## 5. Typy kotlů a jejich výrobci

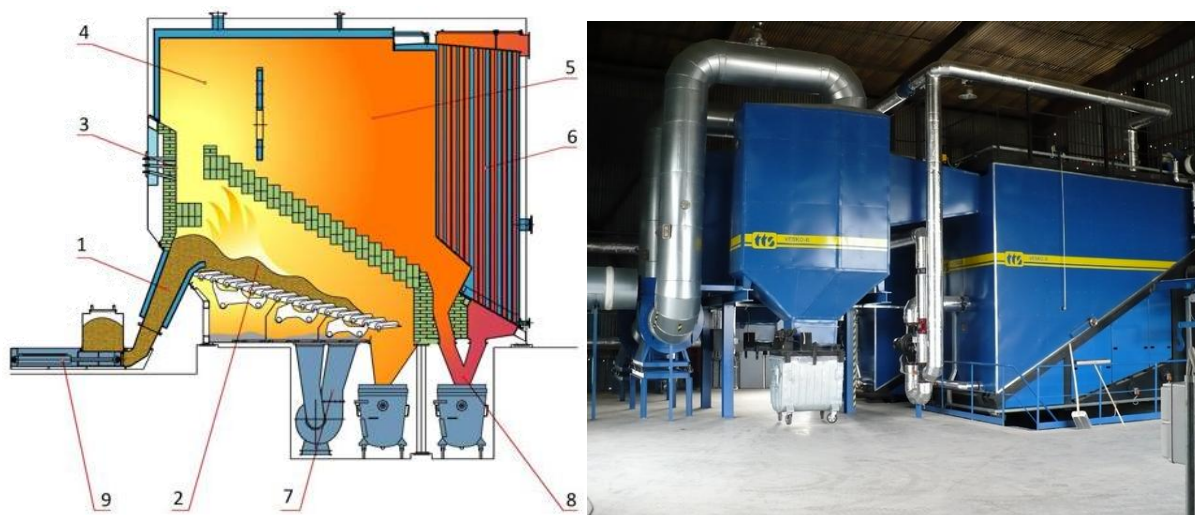
### 5.1 Vesko B

Kotel Vesko B vyrábí firma TTS energo s.r.o. se sídlem v Třebíči. Tento kotel je samonosný, celosvařované skříňové konstrukce. Spaluje biomasu na přesuvném roštu, nad nímž vhodně tvarovaná klenba vyvozuje protiproudé uspořádání spalin, které napomáhá ke zkrácení doby vysušení paliva. Spodní část kotle tvoří ohniště se suvným šikmým roštem. Rošt je ovládán hydraulickým mechanismem a je chlazený pásmovaným primárním vzduchem. Na ohništi je postaven tlakový díl. Kotel je opatřen tepelnou izolací, krytou ocelovým plechem s plastovým povlakem. Konstrukce ohniště umožňuje spalovat i méně kvalitní dřevní hmoty (zejména o vysoké vlhkosti), vznikající při zpracování dřeva na pilách, těžení dřeva, pěstebních či úklidových prací v lese. Jedná se tedy o směs pilin, odřezků, dřevní štěpky, hoblin apod. Palivo je do kotle dopravováno pomocí hydraulického zavážecího lisu. Před spalováním na roštu je palivo protlačováno vyhřívaným tunelem, za účelem předsušení. [19]

Celkové výhody kotle [19]:

- vysoká provozuschopnost a spolehlivost, dlouhá životnost
- kotle nejsou závislé na plynových rozvodech
- nenáročné na obsluhu (maximálně jeden pracovník 2 hodiny denně)
- vliv na životní prostředí (hodnota zplodin je daleko nižší než povoluje norma, pročišťování lesů)





**Obr. 11** Schéma kotle Vesko B a kotel v provozu [19]

Na obr. 10 jsou tyto hlavní části kotle [19]:

- |                                |                          |
|--------------------------------|--------------------------|
| 1. Vyhřívaný vstup paliva      | 6. Trubkový výměník      |
| 2. Roštová komora              | 7. Vzduchové ventilátory |
| 3. Trysky sekundárního vzduchu | 8. Odvod popele          |
| 4. Vírová komora               | 9. Zavážecí lis paliva   |
| 5. Dohořivací komora           |                          |

Kotle Vesko B jsou určeny pro průmyslové podniky s větší potřebou tepla, výtopny centrálního zásobování teplem, obecní výtopny, školy a školky, plavecké areály, hotelové komplexy, pilařské provozy a jiné. Koncepce umožňuje vyrobit kotel optimálních parametrů podle konkrétních požadavků teplovodní nebo horkovodní sítě. [19]

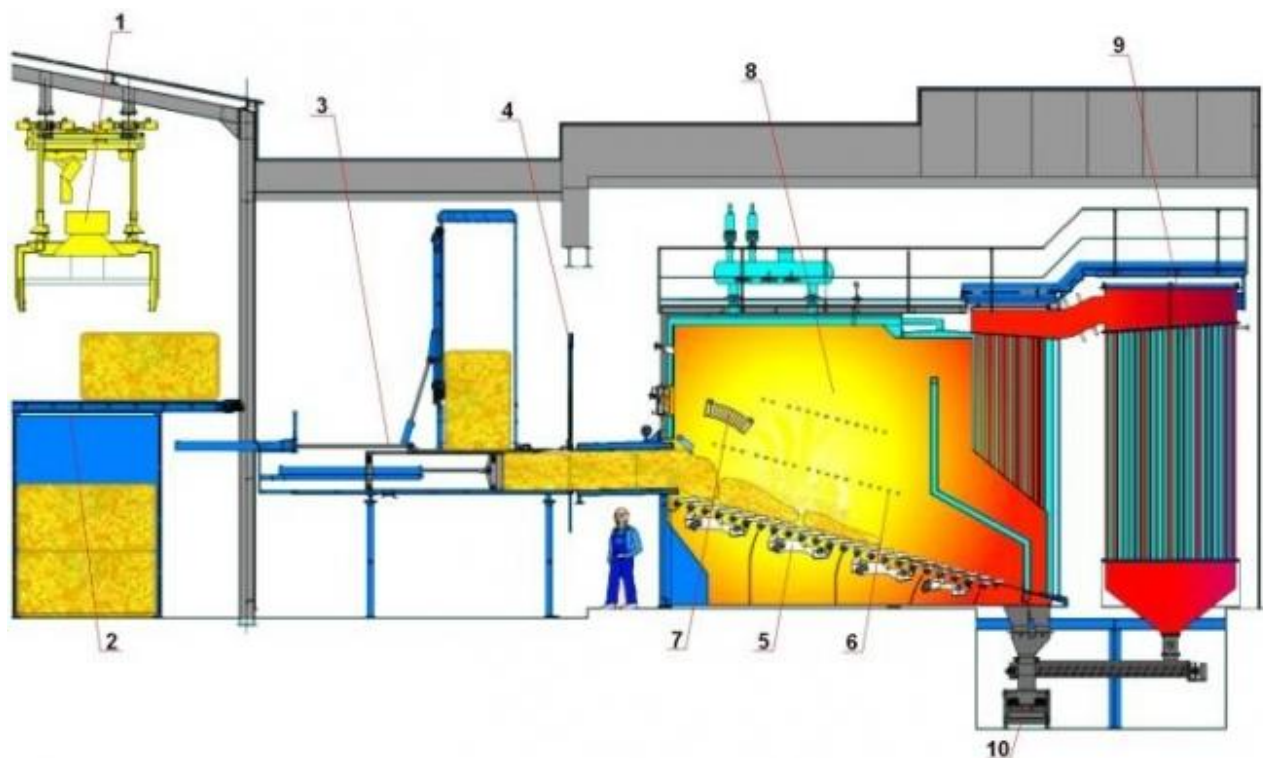
Výkon kotle	MW	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
Konstrukční přetlak	MPa	0,6							
Minimální teplota vody	°C	70							
Maximální teplota vody	°C	110							
Vstupní teplota spalin	°C	170							
Tepelná účinnost (při 50% H <sub>2</sub> O)	%	85							
Regulační rozsah	%	30-100							
Spotřeba paliva (při 50% H <sub>2</sub> O)	kg · hod <sup>-1</sup>	530	990	1580	2050	2698	3238	3778	4317
Tlaková ztráta na straně spalin	Pa	1400	1500	1500	1500	1700	1500	1500	1500
Vlastní (suchá) hmotnost	t	37,7	50	60	110	105	132	155,1	155,1
Vodní objem	m <sup>3</sup>	7,7	14,5	20	30	60	70	43,4	43,4
Provozní hmotnost	t	45,5	64,5	80	140	165	202	198,5	198,5

**Tab. 4** Vybrané technické parametry kotle Vesko B [19]

## 5.2 Vesko S

Kotel Vesko S je vyráběn firmou TTS energo s.r.o. stejně jako kotel Vesko B. Kotel je samostatný, celosvařované skříňové konstrukce. Spodní část kotle tvoří skříň roštů, stěny spalovací komory jsou chlazené vodou. Rošt je chlazený spalovacím vzduchem a ovládá jej hydraulický mechanismus. Spaliny nejprve procházejí prvním tahem konvenčního výměníku, poté postupují do dvoutahového odděleného vodního výměníku. Dále jsou spaliny z kotle odsávány přes systém odprášení spalinovým ventilátorem a dále do komína. [20]

Balíky slámy se dopravují do upraveného prostoru pod zakladačem (jeřábem). Ten je překládá na dopravník, který dopravuje balíky slámy v horizontální poloze. Pomocí podávací plošiny jsou balíky přemístěny do svislé komory, kde jsou rozdruženy pomocí stříhacího mechanismu, jak se posouvají gravitací dolů. Následně píst protlačuje části balíků chlazeným tunelem na rošt. Pro případ zpětného prohoření je palivová cesta přehrazena vodou chlazeným hradítkem při zpětném pohybu pístu. Pro spalování musí mít sláma minimální výhřevnost 13,9 – 15,1 MJ/ kg, maximální vlhkost 11 – 17 % a popelnatost maximálně 5,3 %. Maximální tepelný výkon je 5MW, pracovní přetlak dosahuje až 0,6 MPa a pracovní teplota se pohybuje mezi 90 a 110 °C. Tento kotel je schopen spalovat obilnou slámu, řepkovou slámu, tritikále, len, seno nebo a šťovík.



**Obr. 12** Schéma kotle Vesko S [20]

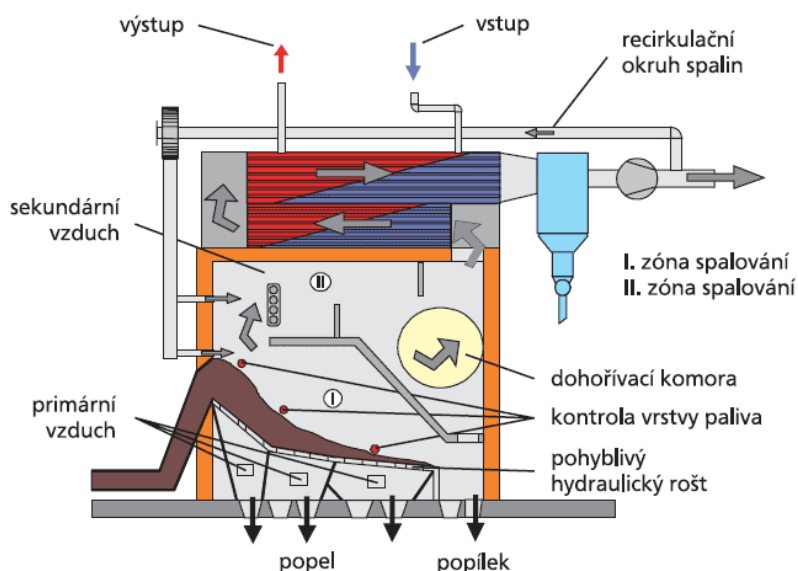
Na obr. 12 jsou tyto hlavní části kotle [20]:

- |                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| 1. Zakladač paliva      | 6. Přívod spalovacího vzduchu |
| 2. Dopravník slámy      | 7. Zapalovací klenba          |
| 3. Stříhací mechanismus | 8. Spalovací komora           |
| 4. Branka               | 9. Oddělený výměník           |
| 5. Šikmý suvný rošt     | 10. Dopravník popele          |

### 5.3 Kohlbach K typ 8

Tento typ kotle je vyráběn rakouskou firmou Kohlbach GmbH s tradicí více jak 50 let, v České republice prodej této firmy zajišťuje společnost Schiestl s.r.o. se sídlem v Dolních Břežanech. V devadesátých letech minulého století se firma Kohlbach dostala do podvědomí díky realizaci 46 spaloven nebezpečného odpadu v České republice a na Slovensku. Tím si přenesla cenné zkušenosti s výrobou spalovacích zařízení do výroby kotlů na biomasu.

Systém kotle Kohlbach K 8 byl vyvinut pro nejružnější vlhké neupravené palivo v rozsahu výkonů od 500 kW do 10 MW. Spalovací komora má šikmý pohyblivý rošt a palivo je od zásobníku do kotle dopravováno speciálním hydraulickým podávacím systémem umožňujícím spalovat netříděné palivo s ojedinělými kusy až do délky 1 metru a průměru 10 cm. Tyto kusy se pomocí hydraulického mechanismu rozdrtí na menší části, které se bez přerušení chodu dopravního žlabu dostanou již bez problémů na rošt kotle, kde shoří. V celé dodávce nejsou použity žádné šnekové ani pásové dopravníky, což prakticky zcela eliminuje výskyt možných poruch v dopravní trase. Nespalitelné příměsi v palivu (kamení, hlína, kovové předměty) projdou spalovací komorou a odpopelňovacím mechanismem, aniž by došlo k omezení chodu kotle. Vysoká regulovatelnost systému umožňuje provozovat kotel ve výkonovém rozmezí 30 až 100 % při dodržení všech předepsaných emisních limitů. [21]



**Obr. 13** Schéma kotle K typ 8 od firmy Kohlbach [21]

Místo instalovaných kotelních zařízení	Výkon
Tepelné hospodářství Nová Cerekev	2 000 kW
Tepelné hospodářství města Slavičín	1600 kW
IROMEZ Pelhřimov	6 000 kW
Dřevozávod Pražan Polička	2 000 kW
LIRA obrazové rámy Český Krumlov	4 000 kW
Less & Timber Bohdaneč	1 500 kW

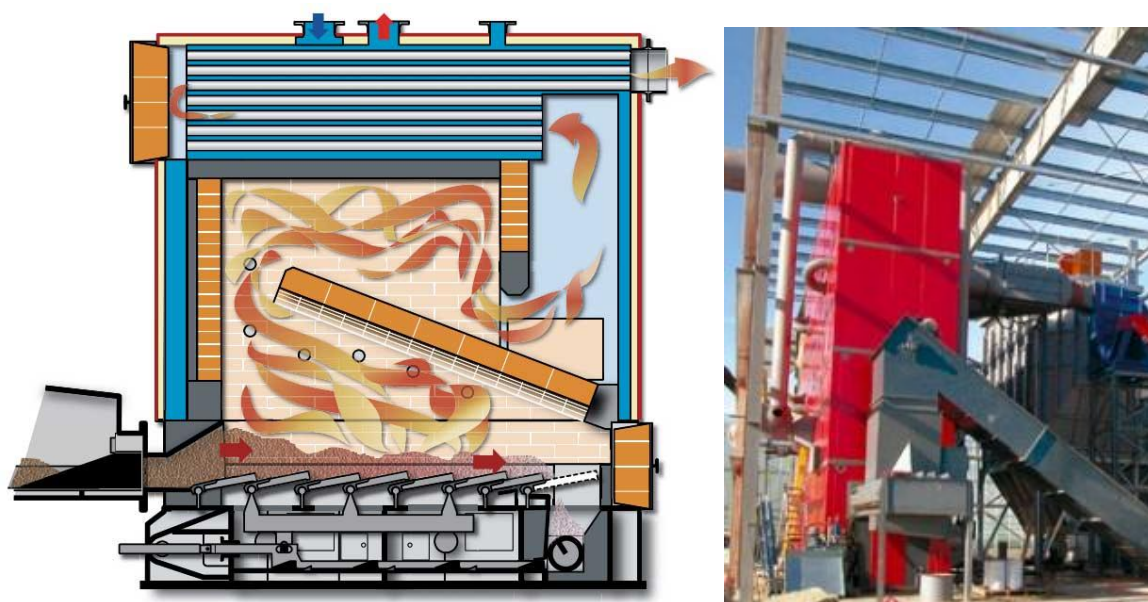
**Tab. 5** Vybrané místa instalovaných kotlů firmy Kohlbach [21]



## 5.4 Binder SRF-H

Výrobce tohoto kotle je rakouská firma Binder GmbH, v České republice a na Slovensku zajišťuje distribuci firma Esel Technologies s.r.o. Firma Binder byla založena v roce 1984 a v dnešní době vyrábí spalovací zařízení s výkonem až 20 MW. Po celém světě dodala na 3000 zařízení a ročně vyrábí až 200 zařízení, přičemž je 85 % určeno k exportu. Firma Binder dodává spalovací zařízení i v podobě kontejnerových systémů.

Kotel Binder SRF-H se vyznačuje spalováním vlhkých (maximální vlhkost je 50 %) a vysoce popelnatých paliv. Spaluje hrubá a drcená paliva s úlomky až 35 cm dlouhými. Palivo je do kotle přiváděno zepředu horizontálním hydraulickým podavačem. Ve spalovací komoře se palivo spaluje na roštích s vratným pohybem, kde je palivo rovnoměrně rozloženo a předsušeno. Kotel je vybaven senzorickým systémem s lambda sondou. Tento systém hodnotí množství odváděného kyslíku jako indikátoru dokonalého spalování. Zajišťuje optimální spalování tím, že reaguje na odlišná paliva a automaticky přizpůsobuje přívod vzduchu anebo paliva.



*Obr. 14, 15 Schéma kotle Binder SRF-H a kotel v provozu [22, 23]*

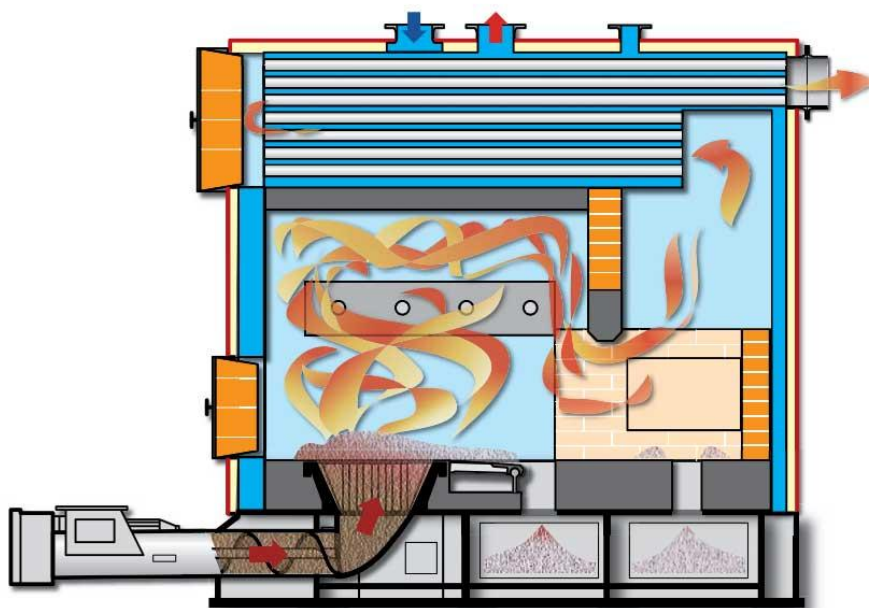
Rošty jsou vyrobeny z vysokoteplotní slitiny chromu. Přívod hlavního a sekundárního vzduchu je podle řízení lambda. V dolní části se nachází škrabka popela, která odstraňuje popel z celého dna. Odstranění popela probíhá standardně automaticky a popel je odváděn šnekovým dopravníkem do jedné nádoby. Spalovací komora je charakteristická stechiometricky navrženým třízónovým systémem a je obložena standardními žáruvzdornými cihlami, které se snadno opravují. Kotel má vodou chlazený plášť, který absorbuje teplo z topeniště a předechřívá vratný proud potrubí podél pláště kotle.

Ochrana proti uhašení [24]:

- kontrola podtlaku po straně spalovací jednotky
- přímo jednající termostatický systém spouštění vody
- schválený odpružený zvlhčovač nebo rotační ventil
- monitorovaná bariéra paliva nebo dvojité mechanické separace

## 5.5 Binder PRF

Kotel Binder PRF zastupuje menšinu při spalování pelet při výkonech nad 1 MW, jelikož spotřeba paliva při těchto výkonech je vysoká a když se k tomuto přičte energetická náročnost výroby pelet, tak je otázkou, od kterých výkonů se spalování pelet přestává vyplácet. Tento kotel dosahuje výkonu až 1,7 MW. Pelety jsou do kotle přiváděny šnekovým podavačem zespoda. Paliva je vytlačováno na pevnou retortu, kde se spaluje. Popel je automaticky odváděn do nádoby. Zásobování paliva může být do kotle přiváděno zepředu nebo ze stran.

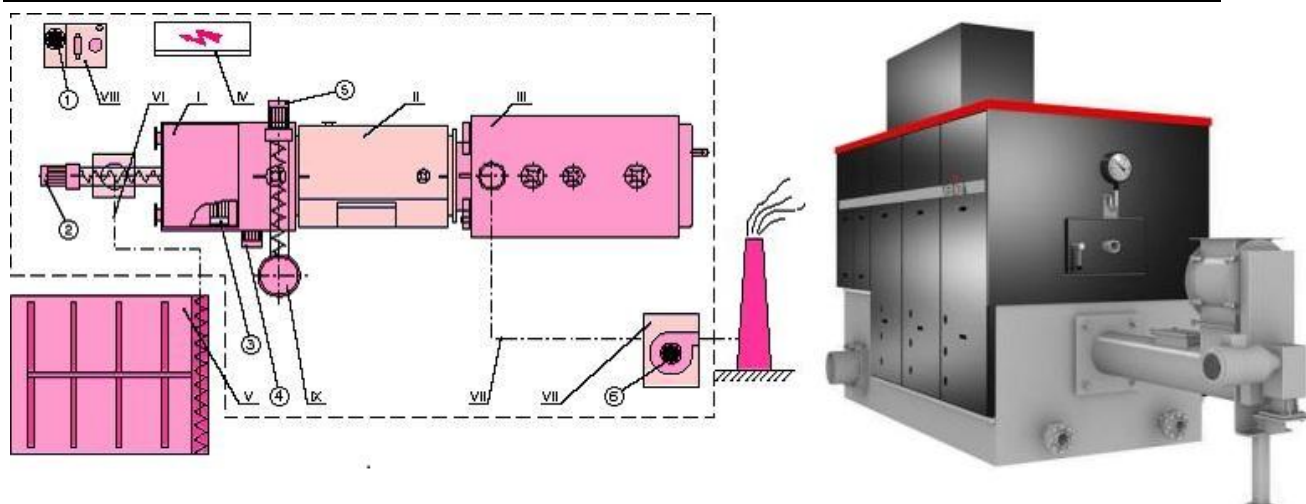


*Obr. 16 Schéma kotle Binder PRF [24]*

## 5.6 Verner GOLEM 2500

Kotle Verner řady Golem dosahují výkonů maximálně 2,5 MW, ale v zapojení v kaskádě je možné docílit až 10 MW. Spalují palivo jako kukuřice, hořčice, pelety z řepky, pelety ze ščovíku, dřevní pelety s kůrou a bez kůry, piliny, štěpku a slámu. Piliny kotel spaluje do vlhkosti 35 %, u štěpky by vlhkost neměla přesáhnout hodnotu 50 % a rozměr 6 cm. Pro spalování slámy, sena udává výrobce maximální vlhkost 20 %. Kotle jsou určeny k ohřevu vody pro stávající vytápění, ohřevu teplé užitkové vody nebo k výrobě páry. Kotel funguje plně automaticky a případná provozní a poruchová hlášení jsou obsluhuje kotelný hlášení přes mobilní telefon.

Palivo je shromážděno v zásobníku paliva, odkud je dopravováno šnekovým podavačem do spalovací komory. Po spálení je popel odváděn dalším šnekovým podavačem do kontejneru. Proces spalování probíhá až do dohořovací komory, spaliny procházejí přes výměníky a filtrační zařízení do komína. Zásobníky paliva mají pohyblivé dno, které zabrání zaklenutí a zajišťují rovnoměrnou dodávku. Zásobník paliva je umístěn na stávající podlaze, zapuštěný do země nebo je vybudován jako nadzemní věž. [25]



**Obr. 17** Schéma kotle Verner Golem2500 [25]

Na obr. 17 jsou tyto části kotle [25]:

- |  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. Pohon hydrogenerátoru                 | I. Hořák                  |
| 2. Pohon příkládacího šneku              | II. Dohořivací komora     |
| 3. Pohon ventilátoru spalovacího vzduchu | III. Výměník              |
| 4. Pohon drtiče popela                   | IV. Řídící jednotka       |
| 5. Pohon dopravníku popela               | V. Zásobník paliva        |
| 6. Pohon spalínového dopravníku          | VI. Dopravní cesty        |
|  | VII. Kouřovody a filtrace |
|  | VIII. Hydraulický agregát |
|  | IX. Popelnice             |

## 5.7 STEP-KB

Kotel Step-KB vyrábí společnost Step Trutnov, založena v roce 1990. Kotel spaluje směs pilin, odřezků, kůry, dřevní štěrku, hoblin apod. do vlhkosti 40 % a výhřevnosti minimálně 10,1 MJ/kg. Obsah nespalitelných látek, které se do paliva přimísily během těžby nebo přepravy, by neměl přesáhnout 0,4 %. Maximální velikost dřevního odpadu vhodného pro spalování je 10 cm. Kotel může být používán jako teplovodní, horkovodní nebo na výrobu páry (bez nebo s přehřívákem). Spalování probíhá na upraveném přesuvném roštu, který je umístěn ve vodotrubnaté membránové spalovací komoře.

Palivo je přiváděno pomocí hydraulického podavače do vstupního hrdla, které je vyhříváno topnou vodou za účelem předsušení paliva. Jako výměník je použit žárotrubnatý vertikální. Popel je klasicky odváděn šnekovým dopravníkem umístěným na konci roštu. Čištění výhřevných ploch probíhá mechanicky, a to pomocí speciálních kartáčů. Kotel dosahuje výkonů až 5 MW. Maximální pracovní teplota je 110 °C, maximální pracovní tlak je 6 bar, teplota spalínů na výstupu z kotle se pohybuje kolem 165 °C. Při výkonu kotle 5 MW je spotřeba paliva 2,2 t/h, hmotnost kotle 24 t a objem vody v kotli dosahuje téměř 20 m<sup>3</sup>. Uvedené hodnoty jsou pro spalování dřevní štěrky o vlhkosti 40 % a výhřevné plochy jsou čisté. [26]

## 5.8 STEP-KS

Kotel Step-KS vychází koncepčně z kotle Step-KB, má stejné parametry i konstrukci, liší se pouze v použitém palivu a jeho dopravě. Jako palivo jsou použité balíky slámy (sláma řepková, pšeničná, energetický šťovík, apod.), které mají maximální průřez 1250 x 1200 mm a délku 2400 mm. Vlhkost by neměla přesáhnout 20 %, obsah nespalitelných látek je nejvýše 0,4 % a popelnatost maximálně 6 %. Balíky slámy musejí být celé svázané a nedeformované. Při změně druhu paliva je nutné seřízení spalovacího zařízení.

Doprava paliva je zajišťována pomocí pásového dopravníku a přesuvného stolu, které jsou umístěny ve skladu paliva. Balíky slámy obsluha pokládá na pásový dopravník např. vysokozdvizným zařízením s vidlemi. Dopravník tyto balíky slámy unáší a ukládá na přesuvný stůl. Přesuvný stůl je osazen hlídáním přítomnosti balíku slámy, které v okamžiku naplnění dává pokyn k zastavení posunu na dopravníku. Před každým zasunutím balíku do kotle je nejdříve otevřen vodou chlazený uzávěr a po zasunutí balíku je ihned automaticky uzavřen. Celý proces podávání paliva do kotle a vlastního dávkování materiálu do topeniště probíhá zcela automaticky na základě požadavku řídicího systému kotle. [27]



*Obr. 18 Kotel STEP-KS v provozu [27]*

Výkon kotle	kW	600	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000
Max. teplota	°C	110							
Max. pracovní tlak	bar	6							
Účinnost kotle při jm. výkonu	%	86 - 91							
Teplota spalin na výstupu z kotle	°C	160							
Spotřeba paliva	kg.h <sup>-1</sup>	174	291	436	581	726	872	1732	2166
Množství spalin	Nm <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup>	1577	2629	3943	5257	6571	7886	9364	11704
Hmotnost kotle	kg	12400	13200	14000	14800	16500	18400	20900	24100
Objem vody v kotli	m <sup>3</sup>	3,60	4,75	5,85	7,10	9,30	10,90	14,50	19,40

*Tab. 6 Vybrané technické parametry kotle STEP-KS [27]*



## 5.9 Kotle Mawera

Společnost Mawera Holzfeuerungsanlagen GmbH se zabývá návrhem a výrobou kotlů na biomasu. Od roku 2006 patří ke skupině Viessmann. Vyrábí kotle spalující dřevní odpad až do výkonů 13 MW. V závislosti na výkonu a palivu jsou použity potrubní dopravní šneky, hydraulické dopravní systémy nebo žlabové řetězové dopravníky. Společnost Mawera vyrábí i bezpečnostní prvky (požární klapky), turniketové uzávěry, uzavírací posouvače a uzávěrové vpustě a dodávají je pouze s patřičnou požárně-technickou homologací. Spalování probíhá v kombinaci na dvojitém posuvném roštu a plochem posuvném roštu při vzduchovém vhánění paliva. Jedná se většinou o třítahové kotle. Kotle se vyrábí jako teplovodní, horkovodní (výstupní teplota do 180 °C) nebo jako parní. Zařízení pro spalování dřeva je možné v kombinaci se Stirlingovým motorem (elektrický 35 až 70 kW) a parními nebo ORC-turbínami použít také pro výrobu elektrické energie do výkonu 2500 kW. Společnost Mawera dodává také modulární kontejnerové kotelny.



*Obr. 19 Kotel Mawera v provozu [28]*

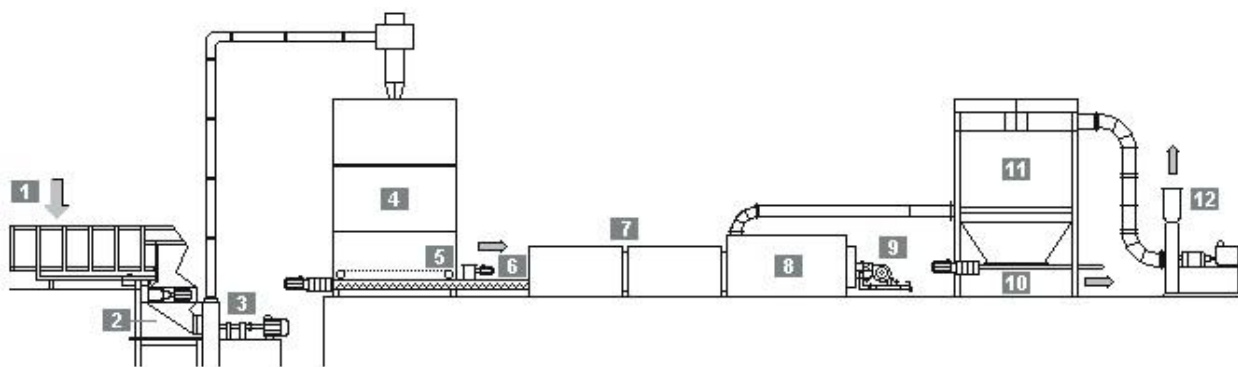
Společnost Mawera nabízí následující příslušenství [28]:

- bunkrové kryty – průchozí nebo i s možností průjezdu vozidel
- rozdělovače paliva, plnicí zařízení na palivo
- systémy pro odstraňování popela
- kontejnery na popel nebo speciální koryta
- zdvihací zařízení, kontejnerové výtahy
- čistící zařízení pro kotlový a spalovací prostor

## 5.10 PolyComp řady KUD

Kotle PolyComp řady KUD spalují palivo do maximální velikosti částic 5 cm a maximální vlhkosti 60 %. Kotle se vyrábějí v rozmezí výkonů od 1 do 5 MW. Kotel je řešen jako kombinovaný velkoprostorový plamencožárotrubnatý se spalovací komorou integrovanou v tělese kotle anebo předřazenou kotli.

Palivo je přiváděno na příjmový a dávkovací žlab, na který navazuje drtič, vzniklá štěpka je dopravována vzduchovým ventilátorem do zásobníku, vybírací zařízení vynáší štěpku do podávacího šnekového dopravníku, který podává palivo do předtopeniště, na které navazuje kotel. Za kotlem je umístěno zařízení pro odloučení tuhých částic ze spalín. Odvod prachu z filtru zajišťuje dopravník. Za filtrem je potom zařazen spalínový ventilátor. [29]



**Obr. 20** Uspořádání technologie kotle, 1 – dávkovací žlab, 2 – drtič, 3 – vzduchový ventilátor, 4 – zásobník, 5 – vybírací zařízení, 6 – podávací šnek, 7 – předtopeniště, 8 – kotel, 9 – dopravník, 10 – odlučovák částic ze spalín, 11 – filtr, 12 – spalínový ventilátor [29]

Přídavná zařízení [29]:

- dopravní a dávkovací zařízení
- zařízení využívající tlakového spádu vyráběné páry pro kogeneraci
- homogenizátory, drtiče paliva a jejich propojení se spalovacím zařízením
- ohřívák vody – pro parní a horkovodní kotle, přehřívák páry
- zařízení pro úpravu vody
- akumulátory tepla

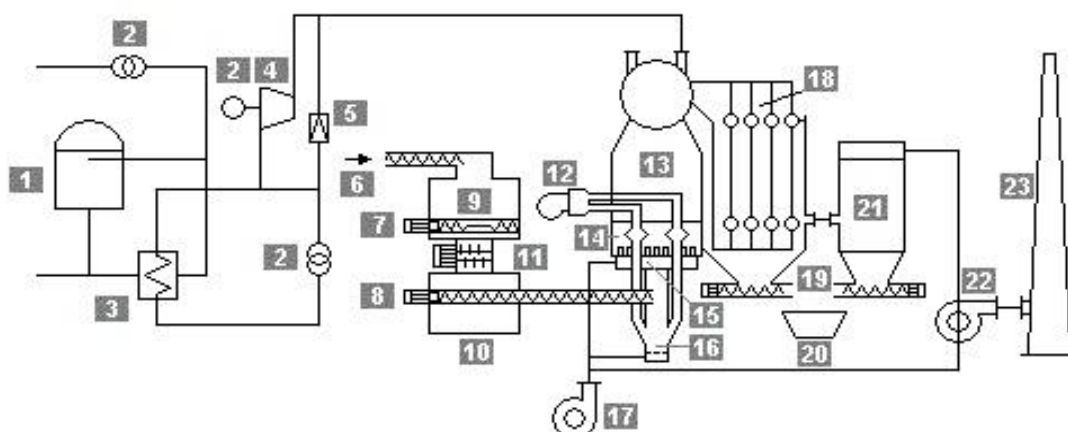
Typ kotle	Teplovodní kotle KUD-T	Středotlaké horkovodní kotle KUD-H	Středotlaké parní kotle KUD
Tepelný výkon	1 – 5 MW	1 – 5 MW	1 – 5 MW
Konstrukční tlak	0,6 (0,9; 1,4) MPa	0,6 (0,9; 1,4; 2,0) MPa	0,6 (0,9; 1,4; 2,0) MPa
Účinnost kotle při jm. výkonu	80 - 86 %	80 - 86 %	80 - 86 %
Regulační rozsah kotle	50 – 100 %	50 – 100 %	50 – 100 %
Teplota vstupní vody min.	70 °C	70 °C	-
Teplota výstupní vody max. pro tlak 1,3 MPa	110 °C	180 °C	-
Teplota napájecí vody min.	-	-	105 °C
Teplota přehřáté páry	-	-	220 - 350 °C

**Tab. 7** Technické parametry [29]

## 5.11 PolyComp řady FK

Kotle řady FK od firmy PolyComp jsou vybavené technologií fluidního spalování. Dosahují výkonů až 3 MW. Mimo jiné je jako palivo použita dřevní štěpka a jiná biomasa. Podle druhu spalovaného paliva je kotel vybaven příslušným zařízením na čištění spalin. U těchto kotlů je možné blokové uspořádání. Kotle jsou dodávány v provedení parním, nízkotlakém parním, horkovodním nebo teplovodním.

Do zásobníku neupraveného paliva je přiváděno palivo, odkud je dopravováno do drtiče a následně do zásobníku upraveného paliva. Šnekovým podavačem je dopravováno do pneumatického podavače, z toho je transportním vzduchem přiváděno do fluidního ohniště, které je tvořeno dnem s tryskami pro přívod fluidizačního a spalovacího vzduchu. Stěny ohniště jsou vodou chlazené. Pro dosažení pracovní teploty fluidní vrstvy je kotel vybaven hořáky na kapalná nebo plynná paliva. Po vyhoření paliva ve fluidní vrstvě je popílek unášen spalinami do konvekční části kotle, kde dochází k jeho prvnímu odloučení. Odloučený popílek padá do výsypky odkud je odváděn dopravníkem popílku do kontejneru. Pro čištění spalin od pevných částic je použit látkový filtr nebo mokrá vypírka. Za filtrem je umístěn spalinový ventilátor. [30]



**Obr. 21** Schéma fluidního kotle FK 2MW, 1 – akumulátor tepla, 2 – spotřeba tepla, 3 – výměník, 4 – parní turbína (motor), 5 – redukční ventil, 6 – dopravník, 7 – podavač, 8 – dopravník paliva, 9 – zásobník neupraveného paliva, 10 – zásobník upraveného paliva, 11 – drtič, 12 – najížděcí zařízení, 13 – fluidní kotel, 14 – ohniště, 15 – fluidní dno, 16 – injektážní zařízení, 17 – vysokotlaký ventilátor, 18 – konstrukční část kotle, 19 – dopravník popílku, 20 – kontejner, 21 – filtr spalin, 22 – spalinový ventilátor, 23 – komín [30]

Typ kotle	Teplovodní kotle VFK	Středotlaké horkovodní kotle HFK	Středotlaké parní kotle SFK
Konstrukční tlak	0,6 MPa	1,4 MPa	1,4 MPa
Max. provozní tlak	0,6 MPa	1,3 MPa	1,3 MPa
Účinnost kotle při jm. výkonu	80 - 85 %	80 - 85 %	80 - 85 %
Regulační rozsah kotle	50 – 100 %	50 – 100 %	50 – 100 %
Teplota vstupní vody min.	70 °C	70 °C	-
Teplota výstupní vody max. pro tlak 1,3 MPa	110 °C	180 °C	-
Teplota napájecí vody min.	-	-	105 °C

**Tab. 8** Technické parametry [30]

## 6. Vybraní provozovatelé

### Kotle Verner [31]

#### Žlutice na Karlovarsku

V roce 2002 byla zkolaudována centrální výtopna na spalování biomasy. V kotelně se nacházejí čtyři kotle Verner Golem. (3 x 1800 kW, 1 x 2500 kW) s celkovým výkonem 7900 kW. V kotelně se spaluje dřevní štěpka, piliny, pelety, sláma, Rumex OK2 a jiné zemědělské produkty. Vlhkost paliva u dřevní hmoty je maximálně 55 % a u zemědělských produktů 25 %. Délka teplovodů činí 11,6 km a teplotní spád je 105/65 °C.

Provozovatelem této výtopny je společnost Žlutická teplárenská a.s., jejímž výhradním vlastníkem je Město Žlutice. Provoz kotelny je řešen jako nepřetržitý a stará se o něj 5 zaměstnanců. Páteční teplovody jsou zhotoveny bezkanálovým dvourubkovým systémem z předvolovaných trubek. Vzhledem k velkému výškovému rozdílu jednotlivých objektů ve městě, byly páteční teplovody rozděleny na dvě tlaková pásma (0,4 MPa a 0,9 MPa). Soustava je řešena jako tlakově nezávislá. Na centrální výtopnu jsou napojena tři sídliště, městské objekty, základní škola, zvláštní škola, mateřská školka, základní umělecká škola, střední lesnická škola, obchodní dům a další instituce jako pošta, lékárna, policie, farní úřad a dalších 47 rodinných domků.



*Obr. 22 Výtopna ve Žluticích na Karlovarsku [31]*

#### Bouzov

V Bouzově je obcí provozovaná kotelná o jmenovitém tepelném výkonu 2400 kW. Do provozu jsou zapojeny dva kotle Verner Golem (1800 kW a 600 kW). Jako palivo je použita dřevní štěpka, piliny, sláma a Rumex OK2. Na kotelnu je napojeno 90 % domácností. V kotelně je z 80 % spalován dřevní odpad z nedaleké pily a parketárny. Z 20 % je spalována sláma od zemědělské společnosti.

#### Helvíkovice

Provozovatelem této kotelny je společnost Dibaq a.s., která vyrábí krmiva pro domácí a hospodářská zvířata. Jako kotel je použit kotel Verner Golem (1800 kW), který vyrábí teplo a páru (jmenovitá teplota syté páry je 175 °C). Jako palivo je spalováno dřevní štěpka, lesní štěpka, žito, zbytky po čištění travních osiv, piliny, sláma, pelety, Rumex OK2 a jiné zemědělské produkty. Z důvodu nedostatku paliva zimním obdobím se firma v roce 2001 rozhodla založit vlastní energetické plantáže Rumexu OK2.



### Dešná u Jilemnice

V této obci se nachází centrální kotelna, která vytápí část obce. Provozovatelem je samotná obec. Vytápěno je celkem 64 domácností, 13 nebytových objektů. Kotelna byla uvedena do provozu v roce 1997 a byla první kotelnou na slámu v České republice. Jako palivo se spaluje dřevní štěpka, piliny, sláma a kůra ve dvou kotlích Verner Golem (1 800 kW a 900 kW) o jmenovitém tepelném výkonu 2700 kW. Maximální vlhkost udávána u dřevní hmoty je 50 % a u slámy je to 18 – 20 %.



*Obr. 23 Kotelna Dešná u Jilemnice [31]*

### Kotle TTS energo s.r.o. [32]

#### Brno – Bystřec

Provozovatel kotelny v Brně Bystřci je TEZA Brno a.s. První kotel byl zprovozněn v roce 2003 o výkonu 1,1 MW typu Multivalent na dřevní štěpku. Pro zvýšení tepelného výkonu byl v roce 2005 zprovozněn další kotel na biomasu, a to kotel Vesko-B s výkonem 1,5 MW na dřevní štěpku.

#### Olomoučany

V roce 2005 byla provedena rekonstrukce stávající kotelny a byl nainstalován kotel Vesko-B o výkonu 1,5 MW spalující dřevní štěpku, piliny a kůru. Provozovatel je firma Pila Olomoučany.

#### Jindřichův Hradec

Provozovatelem kotelny je Teplopol a.s. V roce 2004 byly zprovozněny dva kotle Vesko-B každý o výkonu 3 MW spalující dřevní štěpku, piliny a kůru. Kotelna zajišťuje vytápění části města Jindřichův Hradec a areálu místní pily.

#### Volyně

V rámci rekonstrukce školy za účelem snížení energetické náročnosti budov proběhla výstavba kotelny na biomasu, kam byl instalován kotel Vesko-B o výkonu 1,3 MW na spalování dřevní štěpky, kůry, pilin, apod. Provozovatelem je VOŠ a SPŠ Volyně. Kotel byl zprovozněn v roce 2009.

## Třebíč

V Třebíči se nachází hned několik tepláren, které provozuje firma TTS energo s.r.o. Kotelny se od roku 2001 přestavují na zaměření na biomasu. Teplárna Západ provozuje kotel Vesko-B s výkonem 3 MW. Teplárna Jih provozuje dva kotle Vesko-S každý o výkonu 5 MW. Teplárna Sever provozuje kotel Vesko-B (3 MW), Vesko-S (5 MW), termoolejový kotel Vesko (6,6 MW) a zařízení ORC (1000 kWe) pro výrobu tepla a elektrické energie. V roce 2009 produkovala firma TTS energo s.r.o. 86 % tepla potřebné ve městě Třebíč, které má bezmála 40 000 obyvatel. Centrálně vytápěno je 9800 domácností, školy, podniky, bazén a nemocnice. Jedná se o největší město v České republice, které přechází na vytápění na biomasu. Ročně je spáleno 23 tisíc tun dřevního odpadu, pilin, kůra a zbytků po těžbě a 15 tisíc tun slámy. Firma vidí větší potenciál ve slámě, jelikož se obilí sklízí každý rok. V roce 2011 chce firma vytápět biomasou celé město.

## Kotle Step Trutnov a.s. [33]

### Olomouc

Florcenter Olomouc provozuje dva kotle na celé balíky slámy o výkonech 1600 kW a 2000 kW. Vytápěny jsou skleníky a administrativní budovy společnosti.

### Valašská Bystřice

Teplovodní kotel na biomasu o výkonu 1,5 MW je provozován obcí Valašská Bystřice.

### Rokytnice v Orlických Horách

Provozuje kotelnu na spalování dřevního odpadu, součástí jsou kotle o výkonech 2 x 2,5 MW a 1 MW.

## Další výtopny

### Roštín

Další výtopna, která spaluje balíky slámy, se nachází v obci Roštín. Zde je instalován kotel o výkonu 4 MW od dánské firmy Lin-ka.



*Obr. 24 Kotelna Roštín na Kroměřížsku [34]*

### **Bystřice nad Pernštejnem**

Kotelna má dva kotle, každý o výkonu 4,5 MW. Dodavatel těchto kotlů je rakouská firma Urbas. Při přechodu ze spalování uhlí na spalování biomasy bylo nutné vybudovat nový sklad paliva, který obsluhuje automatický mostový jeřáb. Kotelna vytápí 1500 bytů, školy, sportoviště a úřady. Slabinou je menší odběr v letním období, proto je zde nainstalován akumulátor tepla za účelem optimalizování režimu kotlů. Kotelna nahradila čtyři uhelné a jednu mazutovou kotelnu, tím výrazně přispěla ke zlepšení životního prostředí ve městě.



*Obr. 25 Kotelna v Bystřici nad Pernštejnem [35]*

### **Staré město pod Landštejnem**

Centrální kotelna vytápí téměř celou obec, jedná se o asi 550 obyvatel. Kotelna využívá kotle Polytechnik PR 1000 a PR 1800 s posuvným hydraulickým plněním. Kotelna pracuje v poloautomatickém režimu s občasnou obsluhou. Celkový instalovaný výkon je 2,8 MW. Jako palivo je používána štěpka, stružiny, kůra. Roční spotřeba v roce 2006 byla 522 tun. Kotelna je v provozu od roku 1997. Provozovatelem je samotná obec.

### **Měňany na Berounsku**

Jedná se o obecní teplovodní kotelnu na štěpku s rozvody tepla pro celou obec s kotli Hamont. Napojeno je 89 odběratelů tepla. Kotelna je provozována obcí a celkový instalovaný výkon je 1,12 MW.

### **Pelhřimov**

Ve městě Pelhřimov provozuje společnost IROMEZ s.r.o. dva kotle na biomasu. Jeden od dánského výrobce Volund s výkonem 5 MW a druhým kotlem od rakouského výrobce Kohlbach s výkonem 6 MW. Kotle dodávají teplo do společné sítě městu Pelhřimov. Kotle mohou pracovat i v kogeneračním režimu a dodávat elektřinu do sítě. Kotelna je provozována celoročně. Jako palivo jsou používány piliny, kůra, štěpka, seno a sláma.

### **Houstoň**

Kotel je umístěn v areálu firmy Pila Houstoň, která je i provozovatelem. Vyrobené teplo je používáno k vytápění výrobních a administrativních budov, ale také k sušení dřeva. Jako kotel je použit TSP – GILLES UTSR s výkonem 2,5 MW.

## 7. Závěr

Biomasa jako obnovitelný zdroj energie má výhledově velký potenciál. Při jejím energetickém využívání se uvolňuje menší množství emisí než v případě spalování fosilních paliv. Důkazem je to, že provozovatelé velkých kotlů na biomasu obchodují s emisními povolenkami, kdy je produkováno méně zplodin, než jim povoluje norma. Další výhodou je to, že popel vzniklý při spalování biomasy lze v některých případech použít jako hnojivo a není potřeba ho skládkovat. Při spalování biomasy je ale potřeba brát ohled na to, jestli bude v dané lokalitě dostatečné množství paliva v přijatelné vzdálenosti. Efektivní využití biomasy je v místech, kde se biomasa nějakým způsobem zpracovává a vzniklý zbytek je spalován, např. pily, které mohou dodávat piliny, štěpku a jiný dřevní odpad místní kotelně, která tak vytápí její prostory a třeba zajišťuje teplo pro domácnosti v obci. Jednoznačný prim ve spalování biomasy má město Třebíč, které je takovým reklamním městem, co se týče biomasy.

Evropská unie si určila jako závazek to, že do roku 2020 chce, aby pětina vyrobené energie pocházela z obnovitelných zdrojů energie. Do téhož roku se Česká republika zavázala, že bude vyrábět energii ze 13 % z obnovitelných zdrojů. Jelikož nelze dále stavět fotovoltaické elektrárny, plochy pro výstavbu větrných elektráren jsou omezené svojí polohou v chráněných oblastech a vodní elektrárny mají svůj potenciál téměř vyčerpán, je jednou z cest jak splnit tento závazek spalování biomasy. V roce 2010 měla Česká republika v plánu plnit výrobu z obnovitelných zdrojů z 8 %, a tento plán splnila především díky masivní výstavbě fotovoltaických elektráren.

Další možností jak využívat biomasu je její spoluspalování s jinými fosilními palivy. Na základě zahraničních referencí bylo poprvé spoluspalování v České republice použito v elektrárně v Hodoníně, kde se spolu s lignitem začaly spalovat otrubky a lesní štěpku. Později se takto spalovalo i v jiných elektrárnách, např. ve fluidních kotlích v Tisové, Poříčí a Ledvicích nebo v roštových kotlích ve Dvoře Králové. Spoluspalování biomasy je výhodnější z hlediska ekologické zátěže než spalování jen samotného uhlí.

## 8. Seznam použitých zdrojů

- [1] Česká agentura pro obnovitelné zdroje energie [online]. 2009 [cit. 2011-02-15]. Biomasa. Dostupné z WWW: <<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/biomasa>>
- [2] Wikipedie [online]. 2011 [cit. 2011-02-15]. Fotosyntéza. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotosynt%C3%A9za>>
- [3] EKOBIOENERGO [online]. 2007 [cit. 2011-02-15]. Výhřevnost paliv. Dostupné z WWW: <<http://ekobioenergo.cz/eko-bio-zajimavosti-vyhrevnosti-paliv.html>>
- [4] Energetický poradce PRE [online]. 2008 [cit. 2011-02-15]. Biomasa. Dostupné z WWW: <<http://www.energetickyporadce.cz/uspory-ve-firmach/vyuziti-obnovitelnych-zdroju/biomasa.html>>
- [5] MURTINGER, Karel; BERANOVSKÝ, Jiří. *Energie z biomasy*. 1. vydání. Brno : Computer Press, 2011. 106 s. ISBN 978-80-251-2916-6
- [6] PASTOREK, Z., KÁRA, J., JEVIČ, P. *Biomasa obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC PUBLIC, 2004. 286 s. ISBN 80-86534-06-5
- [7] KRBEK, Jaroslav; OCHRANA, Ladislav; POLESNÝ, Bohumil. *Zásobování teplem a kogenerace*. 1. vyd. Brno : PC-DIR, 1999. 143 s. ISBN 80-214-1347-6
- [8] KRBEK, Jaroslav; OCHRANA, Ladislav; POLESNÝ, Bohumil. *Průmyslová energetika*. 1. vyd. Brno : VUT Brno, 1996. 197 s. ISBN 80-214-0831-6
- [9] MURTINGER, Karel. *Topení dřevem* [online]. 2006 [cit. 2011-05-13]. Dřevo a jeho spalování. Dostupné z WWW: <<http://www.topenidrevem.cz/index.php?page=clanek&rid=5359ebbbca94bf171c951f2614090d88&cid=4524cab599676>>
- [10] Jensen [online]. 2007 [cit. 2011-03-25]. Štěpkovače. Dostupné z WWW: <<http://www.stepkovace-jensen.cz/a-328.asp>>
- [11] Agromel [online]. 2011 [cit. 2011-04-25]. Lisy s variabilní komorou. Dostupné z WWW: <<http://www.agromel.cz/lisy-s-variabilni-komorou>>
- [12] Galvena [online]. 2010 [cit. 2011-04-25]. Pelety brikety. Dostupné z WWW: <<http://www.galvena.cz/paliva/>>
- [13] Biom.cz [online]. 2001 [cit. 2011-04-25]. Dřevní štěrka. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/obrazek/drevni-stepka-vyrobeno-nozovym-stepkovacem>>
- [14] KOLONIČNÝ, Jan: Emise při spalování biomasy. *Biom.cz* [online]. 2010-06-07 [cit. 2011-04-29]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy-2>>. ISSN: 1801-2655
- [15] Ústav procesního a ekologického inženýrství [online]. 2009 [cit. 2011-05-06]. Procesní inženýrství v příkladech. Dostupné z WWW: <<http://www.upei.fme.vutbr.cz/uvodem/procesni-inzenyrstvi-v-prikladech>>
- [16] LING [online]. 2001 [cit. 2011-04-29]. UNIVERZÁLNÍ RETORTOVÝ HOŘÁK LING. Dostupné z WWW: <<http://ruthan.sweb.cz/ling.html>>
- [17] HRDLÍČKA, Jan: Fluidní kotel na biomasu s inertní náplní Liapor. Sborník příspěvků ze semináře „Energie z biomasy X“, VUT v Brně, 2009, ISBN 978-80-214-4027-2
- [18] Leccos [online]. 2002 [cit. 2011-05-02]. Fluidizace. Dostupné z WWW: <<http://leccos.com/index.php/clanky/fluidace>>
- [19] TTS [online]. 2001 [cit. 2011-05-02]. Vesko-B. Dostupné z WWW: <<http://www.tts.cz/cz/boilers/vesko-b.html>>
- [20] TTS [online]. 2001 [cit. 2011-05-02]. Vesko-S. Dostupné z WWW: <<http://www.tts.cz/cz/boilers/kotel-na-slamu.html>>
- [21] Schiestl [online]. 2005 [cit. 2011-04-29]. Kotle na biomasu KOHLBACH. Dostupné z WWW: <<http://www.schiestl.cz/index.php>>



- [22] *Kotle SRF-H* [online]. 2008 [cit. 2011-05-02]. Binder - Energie z biomasy. Dostupné z WWW: <<http://binder.esel.cz/stranka.aspx?idstranka=4624>>
- [23] *Automatické vytápění* [online]. 2008 [cit. 2011-05-02]. Automatické kotle Binder. Dostupné z WWW: <<http://www.avytapeni.cz/Article.aspx/Detail/170>>
- [24] *Kotle PRF* [online]. 2008 [cit. 2011-05-06]. Binder. Dostupné z WWW: <<http://binder.esel.cz/stranka.aspx?idstranka=4629>>
- [25] *Verner - expert na teplo* [online]. 2007 [cit. 2011-05-06]. Kotel Golem 2500. Dostupné z WWW: <<http://www.kotle-verner.cz/vyrobky/kotelny-na-biomasu/golem-2500-horak--vymenik>>
- [26] *Step TRUTNOV* [online]. 2005 [cit. 2011-05-06]. Kotle na spalování dřevní štěpky a zrna. Dostupné z WWW: <<http://www.steptrutnov.cz/vyrobn-program/kotle-na-biomasu/kotle-na-drevni-stepku-step-kb-600-5000-kW.html>>
- [27] *Step TRUTNOV* [online]. 2005 [cit. 2011-05-06]. Kotle na spalování balíků slámy. Dostupné z WWW: <<http://www.steptrutnov.cz/vyrobn-program/kotle-na-biomasu/kotle-na-spalovani-baliku-slamy-step-ks-600-5000-kW.html>>
- [28] *Viessmann* [online]. 2006 [cit. 2011-05-09]. Pyroflex. Dostupné z WWW: <<http://www.viessmann.cz/cs/products/Holzkessel/Pyroflex.html>>
- [29] *PolyComp - Energie pro budoucnost* [online]. 1998 [cit. 2011-05-09]. Kotle pro spalování dřevního odpadu. Dostupné z WWW: <<http://www.polycomp.cz/page.php?lang=cz&f=1kud>>
- [30] *PolyComp - Energie pro budoucnost* [online]. 1998 [cit. 2011-05-09]. Kotle s technologií fluidního spalování. Dostupné z WWW: <<http://www.polycomp.cz/page.php?lang=cz&f=1fk>>
- [31] *Verner - expert na teplo* [online]. 2005 [cit. 2011-05-09]. Průmyslové kotle. Dostupné z WWW: <<http://www.kotle-verner.cz/reference/prumyslove-kotle>>
- [32] *TTS* [online]. 2005 [cit. 2011-05-09]. Reference. Dostupné z WWW: <<http://www.tts.cz/cz/boilers/reference.html>>
- [33] *Step TRUTNOV* [online]. 2007 [cit. 2011-05-09]. Kotelny na biomasu. Dostupné z WWW: <<http://www.steptrutnov.cz/kotelny-na-biomasu.html>>
- [34] *Energie efektivně* [online]. 2007 [cit. 2011-05-13]. Řešení centrálních kotelen. Dostupné z WWW: <[http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Reseni\\_centralnich\\_kotelen\\_na\\_biomasu\\_do\\_vykonu\\_10\\_MW.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Reseni_centralnich_kotelen_na_biomasu_do_vykonu_10_MW.pdf)>
- [35] NOVOTNÝ, Josef: Zkušenosti s využitím dřevní biomasy jako obnovitelného a alternativního zdroje. *Biom.cz* [online]. 2003-11-26 [cit. 2011-05-13]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zkusenosti-s-vyuzitim-drevni-biomasy-jako-obnovitelneho-a-alternativniho-zdroje>>. ISSN: 1801-2655.
- [36] *EurActiv* [online]. 2010 [cit. 2011-05-15]. Energetika ve Finsku. Dostupné z WWW: <<http://www.euractiv.cz/energetika/clanek/finsko-chce-vice-energie--z-jadra-a-obnovitelnych-zdroju-007410>>

## 9. Seznam použitých zkratek a symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
$h$	[-]	obsah hořlaviny v palivu
$A$	[-]	obsah popelovin v palivu
$W^r$	[-]	obsah vody v palivu
$Q_s$	[kJ/kg]	spalné teplo
$Q_i^r$	[kJ/kg]	výhřevnost
$r$	[kJ/kg]	výparné teplo vody
$H_2$	[-]	obsah vodíku v surovém palivu

Zkratka	Význam
OZE	obnovitelné zdroje energie
ORC	organický Rankinův cyklus